plus épaisses, d'un vert plus intense, mais dont les tissus

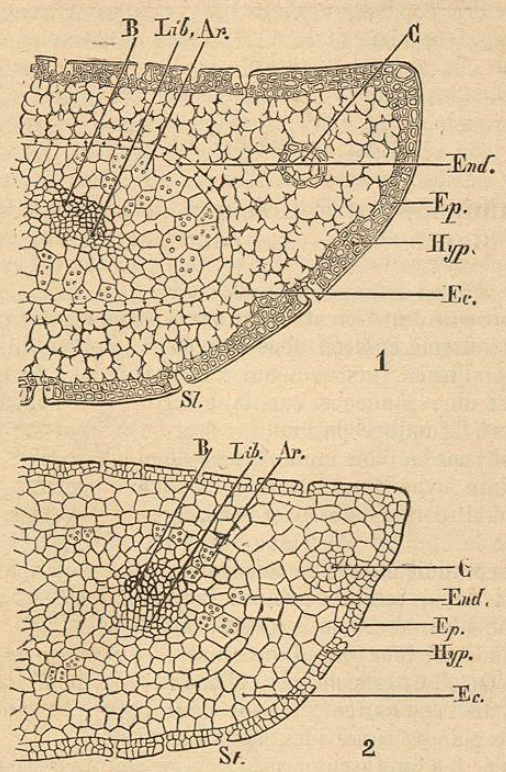

Fig. 219. — Pin d'Autriche. — Comparaison entre la structure d'une feuille développée à la lumière discontinue (1) et celle d'une feuille développée à la lumière continue (2). (D'après M. G. Bonnier.) — *Ep.*, épiderme; *St.*, stomate; *Hyp.*, hypoderme; *Ec.*, écorce; *End.*, endoderme; *Ar.*, tissu aréolé; B, bois; *Lib.*, liber; C, canal sécréteur.

présentent une différenciation beaucoup moindre que ceux des feuilles développées à la lumière discontinue (*fig.* 219).

DIX-NEUVIÈME LEÇON

Influence du milieu sur la structure de la plante (*fin*). — La respiration végétale.

Influence du climat sur la structure des plantes. — Notre dernière leçon nous a montré comment il a été possible d'isoler quelques-uns des facteurs susceptibles d'exercer une influence sur la structure des plantes et d'analyser la nature de l'influence propre à chacun d'eux. Il nous reste à voir comment ces notions trouvent leur application dans l'étude des modifications apportées par le climat à la morphologie externe ou interne des espèces végétales.

L'observation prouve qu'à chaque climat correspond un ensemble de caractères spéciaux de la végétation. Sans quitter les régions tempérées, les plantes des plaines se distinguent nettement, par leur faciès ordinaire, des plantes de montagnes. Qu'elles viennent de la plaine ou de la montagne, les plantes des régions tempérées se distinguent, à leur tour, de celles qui vivent dans les régions arctiques.

Or, qu'est-ce que le climat, sinon la résultante d'un certain nombre de facteurs de l'ordre de ceux que nous avons étudiés dans notre dernière leçon ? En quoi, par exemple, le climat arctique se distingue-t-il de celui de nos plaines, sinon par des différences dans les quantités de chaleur, de lumière, d'humidité atmosphérique, que reçoivent les plantes pendant la durée totale de l'année ?

Il est donc à supposer que l'observation, aidée, s'il est possible, de l'expérience, permettra de retrouver, dans la

structure des plantes d'un climat donné, les traces des facteurs dont ce climat est la résultante.

Influence du climat alpin. — Prenons un exemple.

Les plantes de la région alpine présentent, dans leur allure générale, bien des caractères communs : les parties souterraines (racines ou rhizomes) sont très développées ; les tiges aériennes sont, au contraire, très réduites, courtes, ramassées, et rampent généralement à la surface du sol ; on exprime d'un mot cette allure générale en disant que les plantes sont « naines ». Parmi les espèces qu'on trouve dans cette région, il en est qui sont spéciales aux grandes altitudes ; d'autres se rencontrent aussi dans les plaines, mais elles prennent, sur les sommets, des caractères si différents de ceux qu'elles ont dans les plaines qu'on a été tenté souvent de les décrire comme des espèces distinctes.

Cette différence d'aspect entre les plantes alpines et celles des plaines est-elle due à l'influence directe du climat ? L'expérience seule permet de répondre à cette question.

M. Bonnier a poursuivi, depuis l'année 1884, à diverses altitudes, des cultures expérimentales et comparatives de nombreuses espèces, dans le but de déterminer l'influence que l'altitude peut exercer sur leur port et leur structure.

Les stations choisies ont été, d'une part, différents points de faible altitude, aux environs de Paris ou dans la forêt de Compiègne, par exemple ; d'autre part, quelques points d'altitude régulièrement croissante, soit dans le massif du Mont Blanc, soit dans les Pyrénées. Les altitudes des cultures étaient ainsi comprises entre 50 et 2400 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Un même pied d'une plante vivace était fractionné en plusieurs individus d'égal volume, qui étaient ensuite plantés, à diverses altitudes, dans des terrains de composition aussi semblable que possible. Les sujets d'expérience étaient ainsi plus comparables que ne l'eussent été des plantes issues de semis. Quel que soit, en effet, le soin qu'on apporte à choisir, pour les semis, des graines équivalentes, on peut toujours craindre que leur équivalence ne soit qu'apparente et qu'elles ne soient pas, en réalité, absolument comparables ; au contraire, en divisant un pied d'une espèce vivace, ce sont des fragments réellement équivalents d'un même être qu'on soumet à l'expérience.

Les résultats qu'a fournis cette méthode (*fig.* 220) ont précisé ceux de l'observation. Les individus cultivés à de hautes altitudes sont demeurés nains ; mais leurs feuilles, plus vertes et plus épaisses que celles des individus cultivés dans les plaines, étaient remarquables par le développement considérable de leur tissu en palissade ; l'épiderme foliaire

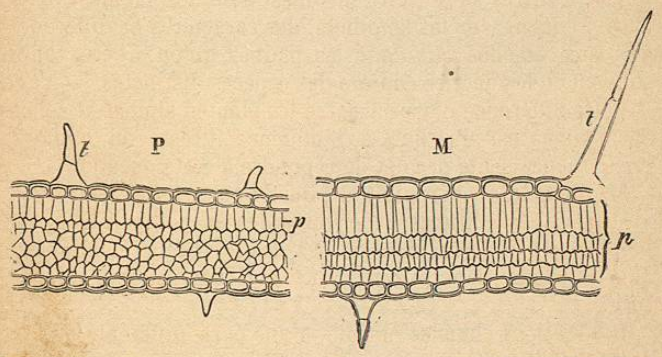

Fig. 220. — *Teucrium Scorodonia.* — Comparaison entre la structure d'une feuille (P) développée en plaine (altitude : 50 m.) et celle d'une feuille (M) développée en montagne (altitude : 1850 m.). (D'après M. G. Bonnier.) — *p*, tissu en palissade ; *t*, poil.

avait une forte cuticule ; l'hypoderme, dans les espèces qui en étaient pourvues, prenait un développement plus considérable ; dans les tiges, le liège acquérait aussi une épaisseur plus grande. D'une manière générale, l'accroissement de l'altitude paraît avoir pour effet de favoriser le développement de tous les tissus protecteurs. Ces résultats ont été confirmés ultérieurement par un travail qu'un botaniste autrichien, M. Wagner, a poursuivi sur le même sujet.

Influence du climat arctique. — M. G. Bonnier a

eu, d'autre part, l'occasion d'examiner des plantes rapportées du Spitzberg et de l'île de Jan-Mayen par l'explorateur Ch. Rabot, et appartenant à des espèces que lui-même avait soumises, dans les Alpes, à ses expériences. Il a pu ainsi étudier l'influence du climat arctique sur la structure du corps des plantes. En comparant un échantillon arctique à un échantillon alpin de la même espèce, il a observé généralement que l'échantillon arctique possède des feuilles plus grandes et plus épaisses que celles de l'échantillon alpin,

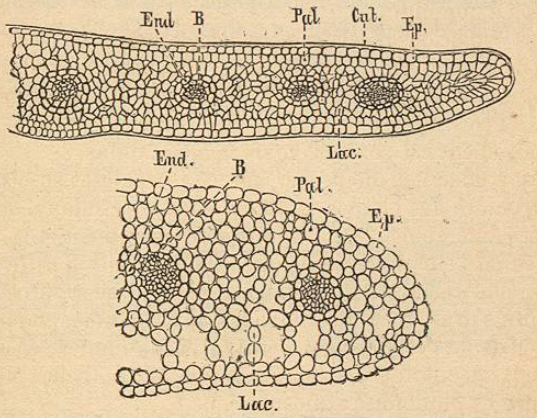

Fig. 221. — *Saxifraga oppositifolia.* — Comparaison entre la structure d'une feuille développée à une grande altitude dans les Alpes (en haut) et celle d'une feuille développée au Spitzberg (en bas). (D'après M. G. Bonnier.) — *Ep.*, épiderme; *Cut.*, cuticule; *Pal.*, tissu en palissade; *Lac.*, tissu lacuneux; *End.*, endoderme; B, bois.

mais que le parenchyme de ses feuilles, presque entièrement lacuneux, possède une structure peu différenciée et que leur épiderme est faiblement cutinisé (*fig.* 221).

Or, en quoi le climat du Spitzberg ou de Jan-Mayen diffère-t-il de celui des Alpes?

Les conditions calorifiques paraissent être à peu près les mêmes dans les deux climats : si l'hiver se prolonge longtemps dans les régions arctiques et si, pendant ce long hiver,

les quantités de lumière et de chaleur reçues par le sol sont extrêmement faibles, en été, au contraire, le soleil reste constamment au-dessus de l'horizon et la quantité de chaleur reçue pendant cette période compense l'insuffisance de celle qui a été reçue en hiver.

L'humidité du sol semble, d'autre part, être à peu près la même dans les deux régions.

On n'en saurait dire autant de l'humidité de l'atmosphère. Un des caractères du climat alpin est la grande sécheresse de l'air. Au contraire, au voisinage des pôles, l'air est très chargé d'humidité.

Les conditions d'éclairement, pendant la période de végétation, sont aussi fort différentes. Dans les Alpes, l'éclairement est discontinu, grâce à l'alternative du jour et de la nuit, et très intense pendant le jour. Au voisinage des pôles, l'éclairement est continu, mais faible et diffus.

Il y a donc lieu de penser que les caractères spéciaux de la structure des plantes arctiques sont la résultante de deux causes différentes : la continuité de l'éclairement et la valeur élevée de l'état hygrométrique. Pour donner à cette hypothèse une certaine vraisemblance, il suffit de rapprocher les résultats expérimentaux obtenus par M. Bonnier en étudiant les effets de l'éclairement continu par la lumière électrique et ceux qu'ont fournis les études de M. Lothelier sur l'influence de l'humidité atmosphérique.

Considerations générales. — Cette étude rapide des premiers résultats obtenus dans une voie encore peu explorée nous a permis de mesurer, une fois de plus, les multiples exigences de la méthode expérimentale, qui prend chaque jour une importance plus grande dans toutes les recherches biologiques.

Nous en retiendrons aussi cette conclusion qu'il faut renoncer à la conception de Claude Bernard, pour qui le corps de l'être vivant était une sorte de moule dans lequel circulerait un courant continu de matière sans cesse renouvelée véritable « tourbillon vital », mais dont l'évolution morpho-

logique serait entièrement soustraite à l'action du milieu ambiant. Le milieu ambiant n'exerce pas seulement son influence sur la physiologie de l'être vivant, c'est-à-dire, par exemple, sur les échanges de toute sorte dont il est, à un moment donné, le siège vis-à-vis de ce milieu ; il agit aussi sur sa structure. La plante, plus peut-être que l'animal, est douée d'une certaine plasticité : parmi les cellules, d'abord identiques entre elles, qui constituent le corps d'un organe jeune, d'une feuille par exemple, chacune évolue, sans doute, suivant des tendances héréditaires qui la poussent vers une différenciation déterminée, soit en cellule assimilatrice, soit en fibre, soit en cellule épidermique ; mais en même temps l'influence du milieu est capable d'imprimer à ces tendances des déviations souvent considérables, que l'expérience peut reproduire.

Physiologie végétale. — Par quel mécanisme s'exerce l'influence, désormais incontestable, du milieu sur la structure de la plante ? C'est ce que nous apprendra peut-être l'étude de sa *physiologie*, que nous devons maintenant aborder.

Echanges gazeux. — Nous commencerons l'étude de la physiologie végétale par celle des *échanges gazeux* qui s'accomplissent entre la plante et le milieu extérieur.

Ces échanges constituent trois fonctions essentielles, qui sont la *respiration*, l'*assimilation chlorophyllienne* et la *transpiration*.

Respiration végétale ; sa généralité. — Toutes les plantes *respirent*, c'est-à-dire qu'elles absorbent de l'oxygène et rejettent de l'anhydride carbonique. La généralité de ce phénomène n'est plus aujourd'hui contestée par personne, et cependant pour l'établir il n'a pas fallu moins d'un demi-siècle de recherches.

Dès la fin du siècle dernier, un des fondateurs de la chimie, Priestley, avait reconnu que les plantes vertes, quand elles sont exposées à la lumière, absorbent l'anhydride carbonique contenu dans l'air ou dans l'eau qui les entoure et expulsent, en même temps, de l'oxygène : échange gazeux qu'on peut s'expliquer en admettant que la plante décompose en ses éléments l'anhydride carbonique qu'elle absorbe, pour rejeter l'oxygène et fixer le carbone. De cette observation, maintes fois répétée, on eut le tort de conclure que les végétaux avaient une respiration spéciale, inverse de celle des animaux. De cette hypothèse résultait un antagonisme remarquable entre le règne animal et le règne végétal : l'anhydride carbonique produit par la respiration des animaux serait détruit par les plantes, qui auraient ainsi pour rôle de purifier l'atmosphère destinée aux animaux.

Plus tard (1804, 1821-1822, 1833), De Saussure montra, par diverses séries d'expériences, que les plantes vertes placées à l'obscurité cessent d'absorber l'anhydride carbonique et de dégager l'oxygène, pour devenir le siège d'une respiration identique à celle des animaux : elles absorbent de l'oxygène et expulsent de l'anhydride carbonique. Il eut aussi l'occasion de constater que les parties de la plante dépourvues de matière verte, ou les plantes dont le corps entier en est privé, respirent, même en présence de la lumière, à la façon des animaux. Les expériences de De Saussure eurent pour effet de modifier l'idée qu'on se faisait de la respiration végétale : on attribua dès lors aux plantes deux sortes de respiration, qui alterneraient régulièrement comme le jour et la nuit et qui seraient inverses l'une de l'autre : par la *respiration diurne*, la plante absorberait de l'anhydride carbonique et rejetterait de l'oxygène ; par la *respiration nocturne*, elle absorberait de l'oxygène et rejetterait de l'anhydride carbonique.

Ce n'est qu'en 1850 et 1851 que des expériences simples, dues à Garreau, sont venues montrer l'inanité de cette distinction en établissant qu'une plante verte, même soumise à l'action de la lumière, rejette de l'anhydride carbonique. On peut donner à ces expériences la forme simple que représente la figure 222. Une plante verte, en pot, est placée sur un disque de verre bien plan. A côté d'elle on dispose un petit cristallisoir ou un verre à pied renfermant de l'eau de baryte. On

recouvre le tout d'une cloche de verre dont le bord inférieur, bien rodé, est fixé au disque à l'aide de suif, de manière à intercepter toute communication entre l'atmosphère intérieure de la cloche et l'air qui l'entoure extérieurement. Au bout de quelque temps, deux heures par exemple, on constate que l'eau de baryte s'est troublée sensiblement : le cristallisoir ou le verre à pied renferme un précipité de carbonate de baryte. Si, à côté de cette première cloche, on a pris la précaution d'en disposer une seconde, identique à la pre-

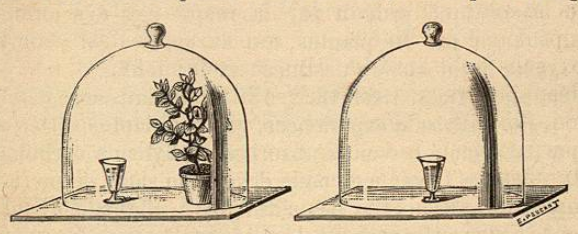

Fig. 222.

mière, mais recouvrant simplement un cristallisoir garni d'eau de baryte, c'est à peine si on constate, à la surface de celle-ci, la formation d'une mince pellicule de carbonate de baryte. C'est donc bien à l'activité de la plante mise en expérience qu'il faut attribuer la formation de la quantité notable d'anhydride carbonique qui a fourni, sous la première cloche, un abondant précipité. Si l'émission d'anhydride carbonique par une plante verte exposée à la lumière a longtemps échappé à l'attention des expérimentateurs, c'est qu'on ne prenait pas la précaution de soustraire ce gaz, aussitôt après sa formation, à l'action de la plante même qui le produit. Dans ces conditions, il est immédiatement repris par cette dernière, qui le décompose en ses éléments pour en fixer le carbone, et ainsi la respiration se trouve masquée par un phénomène profondément différent, celui même qu'avait observé Priestley et que tous les observateurs, après lui, avaient confondu avec la respiration : nous aurons à reprendre, dans notre prochaine leçon, l'étude détaillée de ce phénomène.

Ce qu'on doit conclure de l'expérience de Garreau, et de toutes les expériences semblables qui ont été faites ultérieurement, c'est que, *en présence de l'oxygène, avec ou sans lumière, le protoplasme vivant respire.*

Sa nature. — Maintenant que nous connaissons la généralité du phénomène respiratoire, nous devons nous demander quelle en est la véritable nature.

Les premiers expérimentateurs qui ont étudié la respiration, soit chez les animaux, soit chez les végétaux, ont pensé que le volume d'anhydride carbonique rejeté pendant un temps donné par un être qui respire, serait égal au volume d'oxygène qu'il absorbe dans le même temps : telle était l'idée première que Lavoisier se faisait de la respiration animale. Puisque, d'autre part, un volume d'anhydride carbonique renferme un volume d'oxygène égal au sien, on était naturellement porté à considérer la respiration comme une simple combustion : l'oxygène de l'air, introduit dans l'organisme, brûlerait le carbone des tissus et fournirait immédiatement l'anhydride carbonique expulsé par la respiration.

Mais de nombreux observateurs (Ingen-Housz, De Saussure, etc.) ont montré que le volume d'anhydride carbonique émis par un être ou par un organe, dans un temps donné, est généralement différent du volume d'oxygène absorbé dans le même temps. Dès lors, la notion de respiration perdait tout à la fois de sa simplicité et de sa netteté : la respiration ne pouvait plus être considérée que comme une chaîne complexe de réactions chimiques, d'ailleurs peu connues, dont les termes extrêmes seraient l'absorption de l'oxygène et l'expulsion de l'anhydride carbonique. Claude Bernard alla jusqu'à proposer de rayer du vocabulaire scientifique l'expression même de respiration.

D'autre part, divers expérimentateurs (De Saussure, M. Dehérain, etc.) ont admis que la plante, en respirant, peut, dans certaines circonstances, absorber de l'azote pris à l'air atmosphérique ou, plus fréquemment, en dégager. D'autres savants, il est vrai, parmi lesquels Boussingault doit être mis en première ligne, affirmaient, au contraire,

que l'azote ne joue aucun rôle dans la respiration. S'il fallait donner raison aux premiers, on voit que la notion de respiration se compliquerait de plus en plus et qu'il deviendrait bien difficile d'en fixer la définition précise.

Devant cette divergence d'opinions, des recherches nouvelles s'imposaient : elles ont été faites, de 1884 à 1886, par MM. Bonnier et Mangin. Ces expérimentateurs ont fait porter leurs premières recherches sur des plantes ou des organes dépourvus de chlorophylle, et c'est en prenant pour bases les résultats de ces premières recherches qu'ils ont entrepris l'étude de la respiration chez les plantes vertes.

Pour donner une idée succincte de leur travail, bornons-nous à l'étude de la respiration chez les Champignons et à la description sommaire d'une des méthodes qu'ils ont employées, la méthode de l'atmosphère confinée.

Un lot de Champignons est placé sous une cloche hermétiquement close. A cette cloche est adapté un appareil spécial, dit *appareil à prises*, qui permet de prélever, chaque fois qu'on le veut, un certain volume de l'air enfermé sous la cloche. On adapte, d'autre part, à celle-ci un petit manomètre à air libre qui permet de mesurer, à chaque instant, la pression de l'air intérieur.

On commence par analyser, avant d'y introduire les Champignons soumis à l'expérience, la composition chimique de l'atmosphère contenue sous la cloche. Pour cela, on en fait passer un certain volume dans un tube divisé en parties d'égale capacité : supposons que ce volume occupe cent divisions du tube. On fait passer dans celui-ci une solution de potasse qui absorbe l'anhydride carbonique contenu dans le mélange gazeux : la diminution du volume de la masse gazeuse soumise à l'analyse permet d'évaluer la quantité d'anhydride carbonique qu'elle renfermait. On fait ensuite passer dans le tube de l'acide pyrogallique; avec la potasse qui imprègne encore la surface interne du tube, il forme du pyrogallate de potasse, qui absorbe l'oxygène : la nouvelle diminution de volume qu'on observe permet de doser l'oxygène que renfermait l'atmosphère primitive. Ce qui reste du mélange gazeux n'est autre chose que l'azote.

On laisse ensuite les Champignons sous la cloche pendant un temps suffisamment long, deux heures par exemple. Sous l'influence de la respiration des plantes, la composition de l'atmosphère se modifie. Quand on a décidé de mettre fin à l'expérience, on fait une seconde analyse de cette atmosphère, dont on prélève de nouveau cent volumes à l'aide de l'appareil à prises. En comparant les résultats de l'analyse finale à ceux de l'analyse initiale, on peut se rendre compte de la nature des échanges gazeux qui se sont produits entre les plantes et l'atmosphère.

Quelles sont les causes qui peuvent entacher d'erreur les conclusions d'une telle expérience ?

Si l'expérience se prolonge trop longtemps, plus de trois à quatre heures par exemple, la quantité d'oxygène renfermée sous la cloche peut diminuer au point d'altérer profondément la marche normale de la respiration. Pour que l'expérience offre quelque garantie, elle doit donc être toujours suffisamment courte.

Une autre cause d'erreur tient souvent à un défaut d'interprétation des résultats de l'analyse finale. Si le volume d'oxygène absorbé par la respiration est supérieur au volume d'anhydride carbonique émis, il se manifeste une diminution du volume total de l'atmosphère confinée. En admettant que la quantité d'azote soit restée absolument constante, la proportion de cet azote dans un volume donné du mélange (cent volumes par exemple) se trouve augmentée, et l'analyse finale semble mettre en évidence un dégagement d'azote : le résultat brut de cette analyse donnerait donc une conclusion erronée. Cette hypothèse est plausible : est-elle exacte ? En consultant les indications du petit manomètre adapté à la cloche, on constate, effectivement, presque toujours une diminution de pression dans l'atmosphère confinée : le volume de cette atmosphère a donc diminué. En supposant que la quantité d'azote soit restée rigoureusement constante et en rapportant les résultats fournis par l'analyse

initiale et l'analyse finale à un même volume d'azote, on peut calculer quelle doit être la diminution de pression. S'il n'y a pas de différence entre la diminution lue au manomètre et celle que fournit le calcul, on peut admettre l'exactitude de l'hypothèse qui a servi de base à ce dernier. Or, c'est ce qu'ont vérifié très sensiblement toutes les expériences de contrôle faites par MM. Bonnier et Mangin. On peut donc affirmer que l'azote ne joue aucun rôle dans la respiration végétale. On peut, de plus, en admettant cette inertie de l'azote, faire subir, comme nous venons de le dire, aux résultats des analyses les corrections nécessaires et en déduire, dans chaque cas particulier, la valeur réelle du rapport qui existe entre le volume de l'anhydride carbonique émis et celui de l'oxygène absorbé.

La valeur de ce rapport, que nous désignerons, pour abréger, par le symbole $\frac{CO^2}{O}$, est-elle soumise aux variations des conditions physiques que supporte extérieurement la plante? Est-elle soumise, en particulier, aux variations de la température, de l'éclairement, de la pression de l'oxygène dans l'air? Les expériences nombreuses et variées de MM. Bonnier et Mangin les ont conduits à cette conclusion remarquable que, pour un même organe, à un même état de développement, la valeur du rapport $\frac{CO^2}{O}$ est indépendante de la température, de l'éclairement, de la pression de l'oxygène et, d'une manière plus générale, de toutes les conditions physiques réalisées par le milieu extérieur.

Obtenir un tel résultat, c'était répondre à la question que nous nous posions en abordant l'étude de la nature du phénomène respiratoire. Il y a lieu de maintenir le mot de respiration, mais en lui donnant une signification plus précise. La respiration est bien une chaîne complexe de réactions dont les termes extrêmes sont une absorption d'oxygène et une émission d'anhydride carbonique; mais ces deux phénomènes se règlent à chaque instant l'un sur l'autre, de telle sorte que dans un organe donné, à un instant donné,

il y ait un rapport constant, et indépendant des conditions extérieures, entre le volume d'anhydride carbonique émis et le volume d'oxygène absorbé.

Variations de l'intensité respiratoire. — Si la *nature* du phénomène respiratoire est constante dans un organe donné, à un état donné de son développement, on n'en saurait dire autant de son *intensité*.

Par quoi peut-on mesurer l'intensité de la respiration? Puisque nous connaissons la constance du rapport $\frac{CO^2}{O}$, nous pouvons nous contenter de mesurer soit le volume de l'oxygène absorbé, soit celui de l'anhydride carbonique émis. Or, s'il

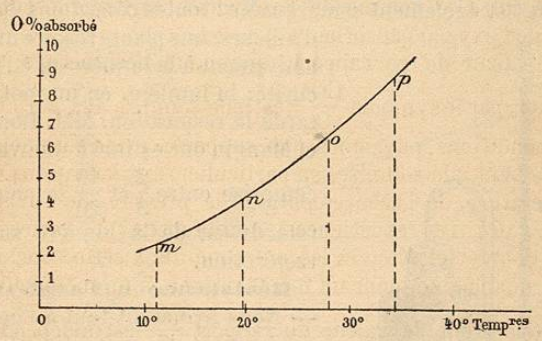

Fig. 223. — Courbe représentant les variations de l'absorption d'oxygène avec la température chez une Agaricinée (*Collybia velutipes*). (D'après MM. Bonnier et Mangin.)

existe un rapport constant entre ces deux volumes, chacun d'eux, pris séparément, varie peut-être dans des limites très étendues. Proposons-nous, par exemple, d'étudier l'influence qu'exercent la température et l'éclairement sur l'intensité du phénomène respiratoire.

L'influence de la température avait été remarquée par De Saussure, puis par Garreau et par De Fauconpret. L'étude de cette influence a été reprise et complétée par MM. Bonnier et Mangin. Ils ont reconnu que l'intensité de la respiration augmente d'une façon régulière avec la température. Si l'on

cherche à traduire par une courbe (*fig.* 223) cette augmentation d'intensité, en portant sur l'axe des abscisses des longueurs proportionnelles aux températures et, sur les ordonnées correspondantes, des longueurs proportionnelles soit au volume d'oxygène absorbé, soit au volume d'anhydride carbonique émis, on reconnaît que la courbe représentative du phénomène affecte la forme d'une parabole dont l'axe serait parallèle à l'axe des ordonnées; à partir de la température la plus basse à laquelle commence la respiration, cette fonction augmente d'intensité jusqu'à la température la plus élevée qui laisse intacte l'organisation de la plante.

L'influence exercée par l'éclairement sur l'intensité respiratoire est également remarquable : toutes conditions égales d'ailleurs, une plante respire moins activement à la lumière qu'à l'obscurité; la lumière, en un mot, retarde la respiration. MM. Bonnier et Mangin ont estimé à une valeur comprise entre $\frac{2}{3}$ et $\frac{19}{20}$ le pouvoir retardateur de la lumière sur la respiration.

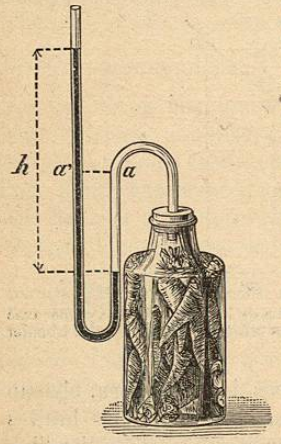

Fig. 224. — Un lot de tubercules de Betterave disposés pour l'étude de la résistance à l'asphyxie. — *aa'* indique le niveau du mercure dans le manomètre au début de l'expérience; *h* est la différence de niveau qui manifeste le dégagement de gaz carbonique sans absorption d'oxygène.

Résistance à l'asphyxie. — Nous avons dit tout à l'heure, en étudiant les conditions dans lesquelles doit se faire une expérience en présence d'une atmosphère confinée, qu'il ne faut pas donner à cette expérience une trop longue durée. Qu'arrive-t-il quand elle se prolonge trop longtemps?

Enfermons un organe riche en matières nutritives et dépourvu de chlorophylle, un tubercule de Betterave par exemple, dans une éprouvette soigneusement bouchée et communiquant avec un manomètre à air libre (*fig.* 224). Pendant les premières heures de l'expérience, nous verrons le manomètre accuser une dépression de l'atmosphère confinée : c'est qu'alors le tubercule respirera normalement et de telle sorte que le rapport $\frac{CO^2}{O}$ soit inférieur à l'unité. Puis, après avoir atteint un certain minimum, la pression de l'atmosphère confinée commencera à augmenter; elle reprendra bientôt une valeur égale à celle de la pression extérieure et, poursuivant sa marche ascensionnelle, elle dépassera cette valeur et continuera à croître. Ces variations de la pression à l'intérieur de l'éprouvette pourront être inscrites sous la forme d'une courbe, dont la figure ci-jointe (*fig.* 225) donne

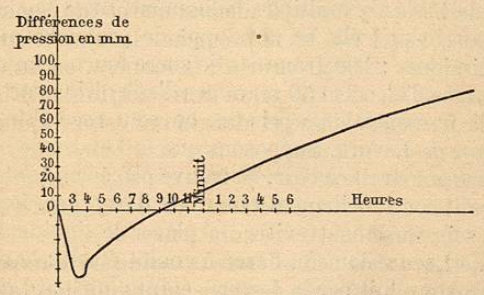

Fig. 225. — Variations de pression pendant le séjour prolongé de *Psalliota campestris* dans une atmosphère confinée. — La courbe donne les différences de la pression intérieure avec la pression extérieure ramenée à 760mm. Toutes les pressions ont été ramenées à la même température (15°). (D'après MM. Bonnier et Mangin.)

une idée approchée. Si au bout de vingt-quatre ou quarante-huit heures, par exemple, on met fin à l'expérience et qu'on débouche l'éprouvette, on constatera qu'elle est entièrement remplie d'anhydride carbonique et on percevra, de plus, une forte odeur d'alcool dégagée par le tubercule. Celui-ci, replacé dans les conditions normales, en contact avec de nouvelles quantités d'oxygène, se remettra à respirer. De cette expérience on peut conclure que, lorsque la respiration, faute d'oxygène libre, devient impossible, la plante, qui souffre de cette absence d'oxygène, résiste à l'asphyxie qui la menace

en prenant l'oxygène qui lui manque dans ses propres tissus : le tubercule de Betterave se nourrit aux dépens du sucre accumulé dans ses cellules, le décompose et en fait de l'alcool et de l'anhydride carbonique. C'est le phénomène de la *résistance à l'asphyxie*, signalé pour la première fois en 1869 par MM. Lechartier et Bellamy et dont l'étude a été reprise en 1876 par Pasteur.

Comparaison avec la fermentation. — Quel est le phénomène, déjà connu de nous, duquel on pourrait le plus aisément rapprocher la résistance à l'asphyxie? C'est évidemment la fermentation alcoolique.

Plongée dans une solution de glucose, à l'abri de l'air, la Levure de bière s'y multiplie faiblement, mais fait subir au sucre dans lequel elle se développe de profondes modifications chimiques : 100 grammes de sucre fournissent environ 50 grammes d'alcool et 50 grammes d'anhydride carbonique. Quand la fermentation a pris fin, on peut recueillir environ 1 gramme de Levure. Supposons que la Levure de bière, au lieu d'être soustraite à l'air, se trouve placée en contact avec un courant continuellement renouvelé d'oxygène. Pour cela, il faut soigneusement éviter de placer le liquide sucré et chargé de Levure dans un flacon à goulot étroit : l'anhydride carbonique produit par la Levure, étant plus lourd que l'air, ne tarderait pas à s'accumuler au-dessus de la surface libre du liquide et la Levure se trouverait bientôt dans les conditions de l'expérience précédente. Il faut disposer, dans une cuve plate et large, une faible épaisseur de moût de bière et faire en sorte que le renouvellement de l'air à la surface de la cuve élimine l'anhydride carbonique au fur et à mesure de sa production. On assiste alors à un phénomène tout différent de la fermentation alcoolique : la Levure se multiplie abondamment, de telle sorte que 100 grammes de sucre en fournissent environ 25 grammes; de l'anhydride carbonique se dégage; mais, quand l'expérience a pris fin, le liquide dans lequel s'est développée la Levure renferme à peine quelques traces d'alcool; sa saveur est fade. La Levure, exposée à un courant d'oxygène constamment renouvelé, placée, par conséquent, dans les conditions où se trouvent ordinairement les végétaux supérieurs, a respiré comme eux : elle n'a pas provoqué de fermentation.

Dans les conditions ordinaires de la fermentation alcoolique, la Levure commence par vivre en respirant normalement; puis elle ne tarde pas à s'entourer, par sa propre activité, d'une atmosphère d'anhydride carbonique qui s'oppose à la respiration, et celle-ci se trouve, dès lors, remplacée par la fermentation.

On voit, en résumé, que la Levure de bière peut affecter deux modes de vie très différents. Tantôt elle vit au contact de l'air et se nourrit d'oxygène libre : on dit alors qu'elle est *aérobie*. Tantôt elle vit à l'abri de l'air et prend l'oxygène qui lui est nécessaire dans des combinaisons chimiques où il est déjà engagé : on dit alors qu'elle est *anaérobie*. Elle se comporte, dans ce dernier cas, comme la plante d'organisation supérieure qui résiste à l'asphyxie. De la comparaison de ces deux types biologiques, en apparence si différents, nous pouvons donc tirer cette conclusion générale que toute plante a besoin, pour vivre, d'une certaine quantité d'oxygène, mais qu'elle le prend tantôt dans l'air ou dans l'eau qui le lui livrent à l'état de liberté, tantôt dans des combinaisons plus ou moins complexes d'où elle doit l'extraire. Ainsi s'établit, par une série ininterrompue d'intermédiaires, une liaison naturelle entre le phénomène de la respiration et celui de la fermentation.